

Hiperspektrális távérzékeléses módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére**I. A kutatás eredményeit összefoglaló, részletes jelentés**

A kutatás előrehaladása, a felmerült problémák, akadályok, a kutatómunkában résztvevők személyében beálló változás

A kutatási program a tervezett 2005. januári indítás és 2008. évvégi befejezés helyett, a szerződéskötés elhúzódása miatt, csak 2005 szeptemberében indult, így a befejezés 2009. szeptember vége lett.

A pályázati anyagban leírtakhoz képest már szerződésben jelentős változás volt, hogy a hiperspektrális képkészítést nem az előzetesen tervezett, a DLR által fejlesztett DAIS-79 hiperspektrális szenzorral, hanem a Debreceni Egyetem és a Gödöllői Egyetem által pályázati forrásból megvásárolt AISA Dual szenzorral terveztük végrehajtani. Ez később jelentősen növelte a projekt eredményeinek elméleti és gyakorlati hasznosítását, hiszen a kutatási program révén sikerült kialakítani a légi hiperspektrális távérzékelés hazai gyakorlatát, feltárultak a hiperspektrális képkészítés technikai problémái és a publikációk révén ismertté vált a rendszer sokrétű hasznosíthatósága.

A kutatási programban végrehajtott hiperspektrális képkészítés az első olyan hazai alkalmazás volt, mely során viszonylag nagy terület sikerült lefedni nagy geometriai felbontású hiperspektrális felvételekkel. A hazai tulajdonban lévő műszer révén a repülési kampányok könnyebben szervezhetők voltak, ugyanakkor az első alkalmazás miatt számos technikai nehézséggel küzdött a repüléseket és a felvételezést végző, elsősorban debreceni kutatókból álló csoport. Ezen (később részletesen bemutatott) problémák miatt a felvételek egy része kevesebb adattartalommal bír, de ez nem csökkenti jelentősen az adatok értékét.

Szintén a projekt sajátossága volt, hogy az alacsony költségvetés miatt (5500 e Ft) mindösszesen két repülési kampányt sikerült megvalósítani a projekt ideje alatt (2007, 2009). Ezek költsége projekt költségvetésének kb. az 50 %-át lefedte. Emellett mindkét esetben elszámolási problémát jelentett, hogy az egyéb költség rovatra tervezett képkészítési, repülési költségek megbízásként lettek elszámolva. Emiatt mindkétszer külön indokolni kellett az eredeti pénzügyi tervtől való eltérést.

A projekt címében szereplő térbeli folyamatok vizsgálata a kétszeri felvételezési lehe-tőség és a technikai problémák miatt szinte megvalósíthatatlan lett volna. Emiatt a kutatási programban, a felvételezések és az azokat követő adatfeldolgozás közötti időben, új technológiai fejlesztéseket, a további hiperspektrális képelemzésekhez szükséges alap kutatásokat hajtottunk végre. Ezek elsősorban a különböző kisformátumú kamerák alkalmazásával végrehajtott képkészítések és új képfeldolgozási technológiák alkalmazási voltak, melyeket részletesen bemutattunk publikációkban és kevésbé részletesen a zárójelentésben is bemutatunk.

A problémák között említhetjük még azt a projekt elején is látott kockázati tényezőt is, amely szerint a vizsgálni kívánt térbeli folyamatok nem szükségszerűen következnek be a projekt ideje alatt. Ez elsősorban a belvízképződésre vonatkozik, mely a két kampány alatt, a vizsgált területen nem volt jelentős mértékű. Ugyanakkor a terepi felvételezések révén és a rendelkezésre álló multispektrális felvételek elemzésével felkészülhattünk egy későbbi, nagyobb terület érintő belvízelöntési időszak vizsgálatára.

A programban a kutatást végző, állandó státuszú személyek nem változtak, viszont a PhD hallgatóként bevont Fejes Csaba helyett, Juhász Géza PhD hallgató folytatta a munkát. Új alkalmazásban – mindössze két hónapig – Reizner Judit végzett terepi reflektancia méréseket még a kutatási programban.

A fenti problémák ellenére a projekt számos új eredményt hozott, és ezeket folyamatosan publikáltuk, illetve mutattuk be hazai és nemzetközi konferenciákon. A következőkben az eredményeket ismertetjük.

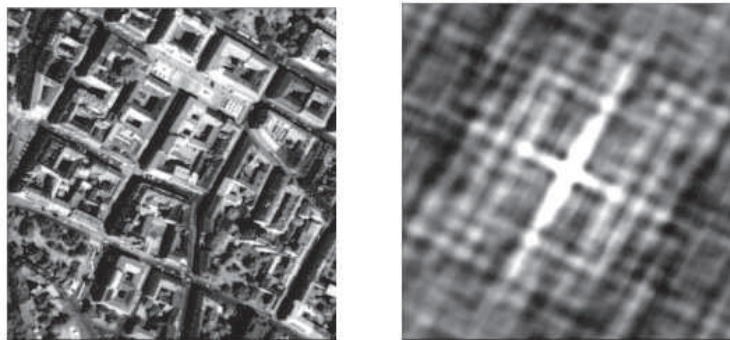
Az irodalmi hivatkozásokat jelöltük a szövegben, de a hivatkozások részletes adatai csak a közleményekben találhatók meg.

II. A városi felszín beépítettségének vizsgálata multi- és hiperpektrális felvételek osztályozásával

A város, mint sajátos felszínborítási típus, Földünk egyik leggyorsabban változó tája. Bár csak a Föld felszínének kis részét borítják, a város az emberi népesség és tevékenység helyszíne és ebből következően a természetes erőforrások jelentős átalakítása folyik a városi területeken. A települési környezetben a megváltozott felszínborítottsági adottságok és légköri összetétel jelentősen befolyásolják a terület víz- és energiaegyenlegét, ami közvetve a városok légterében lokális léptékű klímamódosuláshoz vezet. A módosulás legszembetűnőbb megjelenési formája az ún. *városi hősziget* (urban heat island (UHI) kialakulása a város légterében ill. a felszínén, valamint az alatta lévő rétegekben is néhány méteres mélységig. Jelen esetben elsősorban a légtér melegebb voltára koncentrálnunk.

A város beépítettségének vizsgálatakor támaszkodhatunk különböző archívumok képi és táblázatos adataira. A kutatási projekt során több problémát kellett megoldani.

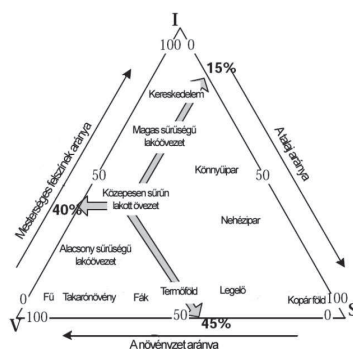
A városi beépítettségnek, közvetve a reflektancia-mintázat léptékének és a felvétel térbeli felbontásának kapcsolata határozza meg, hogy a felvételen mennyi spektrálisan vegyes képelem keletkezik. Ha a reflektancia léptéke kisebb vagy közel azonos az űrfelvétel felbontásával, akkor sok spektrálisan vegyes képelem lesz a képen. A városi reflektancia térbeli léptékét autokorreláció¹ alkalmazásával állapítottuk meg egy 2004-es, 1 m felbontású IKONOS űrfelvétel segítségével (1. ábra). A városi mintázat legkisebb egységei és ebből következően a városi reflektancia térbeli léptéke Szeged esetében 10-60 m közötti.



1. ábra IKONOS pankromatikus űrfelvételből készített belvárosi kivágat és autokorrelációs képe

Ez alapján a 30 m felbontású Landsat TM felvételek relatíve sok, míg a 10 m-nél jobb felbontású hiperspektrális légifelvételek viszonylag kevés spektrálisan vegyes képelemet tartalmaznak.

A térbeli folyamatok elemzését a kevés hiperspektrális kép alapján nehezen lehet elvégezni ezért felhasználtunk multispektrális felvételeket is a városi beépítettség változásának elemzéséhez.



A városi felszín távérzékeléses vizsgálatakor elsősorban a felszínt borító anyagokat azonosítjuk. A Ridd (1995) által kidolgozott módszer a területhasználati típusok megkülönböztetését szolgálja, és a növényzet (V-vegetation), a mesterséges (vizet át nem eresztő – I-impervious) és a talaj (S-soil), mint főbb felszínborítási típusok aránya szerint adja meg a területhasználati típusokat. A modell, a három kategória kezdőbetűje alapján, VIS modellként lett ismert (2. ábra).

2. ábra A VIS modell háromszögdiagramja (RIDD, 1995)

¹ Autokorreláció- az adott képelemmel szomszédos, hasonló intenzitású képelemek mennyiségi analizésére szolgáló módszer

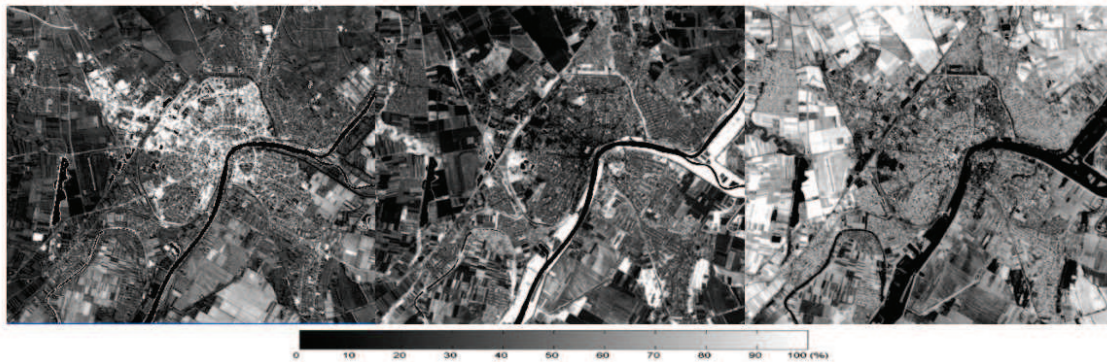
Hiperspektrális távérzékeléses módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére

A szupernagy felbontású, multispektrális képek lehetőséget biztosítanak a városi reflektancia térbeli léptékének vizsgálatára (SMALL, 2003). A spektrálisan vegyes képelemek osztályozását - VIS modell logikája alapján – az SMA módszer (*Spectral Mixture Analysis*) szerint végezhetjük el, mely a pixelen belüli (sub-pixel) fő felszínborítási kategóriák arányát adja meg. A módszer tovább fejleszthető az LSMA (*Linear Spectral Mixture Analysis*) és az NSMA (*Normalized Spectral Mixture Analysis*) módszerekkel (WU, 2004). A városi felszínek tanulmányozásakor az LSMA módszerrel becsülhető a mesterséges felületek és a növényzet mennyisége és előrelépést jelenthet a városi felszínborítás osztályozásában is. Mivel a mesterséges felületek szoros összefüggést mutatnak a városi mintázattal, új lehetőséget nyújthatnak a városi területhasználat térképezéséhez.

A spektrális szétválasztási vizsgálat célja, hogy meghatározzuk a pixelen belül a homogén spektrumú felszínborítási típusok az ún. szélsőpontoknak (*endmember*) arányát (ROBERTS et al., 1998). Minden egyes szélsőpont egy tiszta felszínborítási típust határoz meg.

Az LSMA eredményei a felszínborítási típusok pixelen belüli arányait mutató térképek. A három térkép az egyes felszínborítási típusok térbeli eloszlását, míg a 4. térkép a művelet hibaértékét tartalmazza. A pixelérték 0-1 közötti szám, ha 1 a felszínborítási típus pixelen belüli aránya 100 %.

A mesterséges felszínek térképén (3.a ábra) megfigyelhető, hogy a magas beépítettségű felszínek a Belváros területén, a körutak és sugárutak mentén, az ipari létesítményeknél, a nagyobb bevásárló centrumoknál, lakótelepeken, a busz- és a vasútállomás területén fordulnak elő legnagyobb arányban. Ezeken a területeken alacsony a növényzet, ill. a talaj aránya.



3. ábra A mesterséges felszínek, a növényzet és a talaj aránytérképe 2007-es LTM felvétel alapján

A növényzet frakciós térképén (4.b ábra) jól elkülönülnek növényzettel borított területek, az ártéri erdők, a város területén belüli kisebb erdők, parkok (világos színű foltok). A Belváros, ill. a sűrűn beépített városrészek pixelértékének kialakításában csak kis súllyal vesznek részt, ezt támasztják alá az itt látható sötét színű pixelek. A Belváros esetében a növényzet aránya közel 0 %, a sűrűn beépített részeken 20% alatti, míg a kevésbé sűrűn beépített területeken 20-40% közötti.

Az 1986. jún. 16-án rögzített LTM5 felvételre hasonló módon végrehajtottuk az LSMA elemzést. A 2007-es és az 1986-as ürfelvételekből kialakított beépítettségi térképeken jól látszik, hogy a város mely részein zajlottak le a legfontosabb változások (4.ábra).



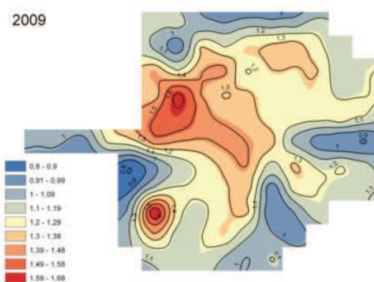
4.ábra 1986-as (bal oldali) és a 2007-es (jobb oldali kép) mesterséges felszín térképek

Hiperspektrális távérzékeléses módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére

Szembetűnő, hogy a körutak, és a sugárutak mentén egyre szélesebb sávban nő a beépítettség mértéke, melynek oka, hogy a korábbi lakástámogatási rendszer miatt több társasház épült és ezeket a telkeket jóval nagyobb mértékben fedték mesterséges anyagokkal, mint a korábbi beépítéssel. Különösen megnőtt a beépítettség mértéke a Budapesti körút József Attila sugárút és a Kossuth Lajos sugárút közötti szakaszán, ahol a lakótelepi lakóházak közötti nagy nyílt talaj és zöldfelületeket kereskedelmi, szolgáltató és ellátó épületek (TESCO, Lidl, MédiaMarkt, Matáv telefonközpont, benzinkutak, stb.) foglalták el.

Szegeden sem maradtak el a lakóparki építkezések. A budapesti körúti TESCO-tól DK-re lévő, korábban elhanyagolt füves, bokros Francia-hegy területén több mint 100 lakásos lakópark (Franciahegy Lakópark), a volt Petőfi S. sugárúti laktanya helyén a Vadas Lakópark épült. A Kálvária sugárúttól a Petőfi S. sugárútig tart a Budapesti körút folytatása, mely jelentős változásokat hozott a város déli részén. Az említett lakóparki építkezés mellett, a körút mellett épült fel a 2009-ben átadott Napfénypark bevásárló központ, mesterséges felületekkel fedve az egykori bokros, fás területet, bár ez a 2007-es felvételen nyilván nem látszik még.

Többnyire az ún. Nagy-körút és a Budapesti körút között helyezkednek el Szeged kertes, családi házas területei (Rókus, Móraváros, Alsóváros). Az elmúlt évtizedekben, ezekben a városrészekben lényeges szerkezeti változások nem voltak, megőrizte a szerkezet a 1879-es árvíz utáni tervek utcahálózatát, és néhol azokat a típusházakat, melyeket az árvíz után építettek. A 1990'-es évektől kezdve ezek a területek felértékelődtek a nyugodt, csendes környezet, a viszonylag nagy (6-800 m²-es) telkek miatt, és itt indultak meg a társasházi építkezések. A beépített terület is jelentősen megnőtt, és különösen igaz ez a beépített tömeget illetően. A beépített mesterséges felületnek, a lakosság számának, a forgalomnak, a bevitt és felhasznált (pl. fűtés, légkondicionálás) anyag- és energiamennyiségnek, ill. a nyílt talaj- és növényzettel fedett felszínnek csökkenése miatt ezek a területek módosítani fogják pl. a városi hősziget és a beépítettség kapcsolatáról megfogalmazott, az 1990-es évek végére vonatkozó állításainkat.



A beépítettségi térképek és a felszín közeli léghőmérsékleti adatok korrelációs elemzése alapján szoros összefüggés mutatható ki a városi hősziget intenzitása és a beépítettség között. Elemzéseink alapján modellezni lehet a hősziget kiterjedését és mértékét olyan űrfelvételek SMA elemzése alapján, melyek felvételezésekor nem volt felszíni léghőmérsékletmérés.

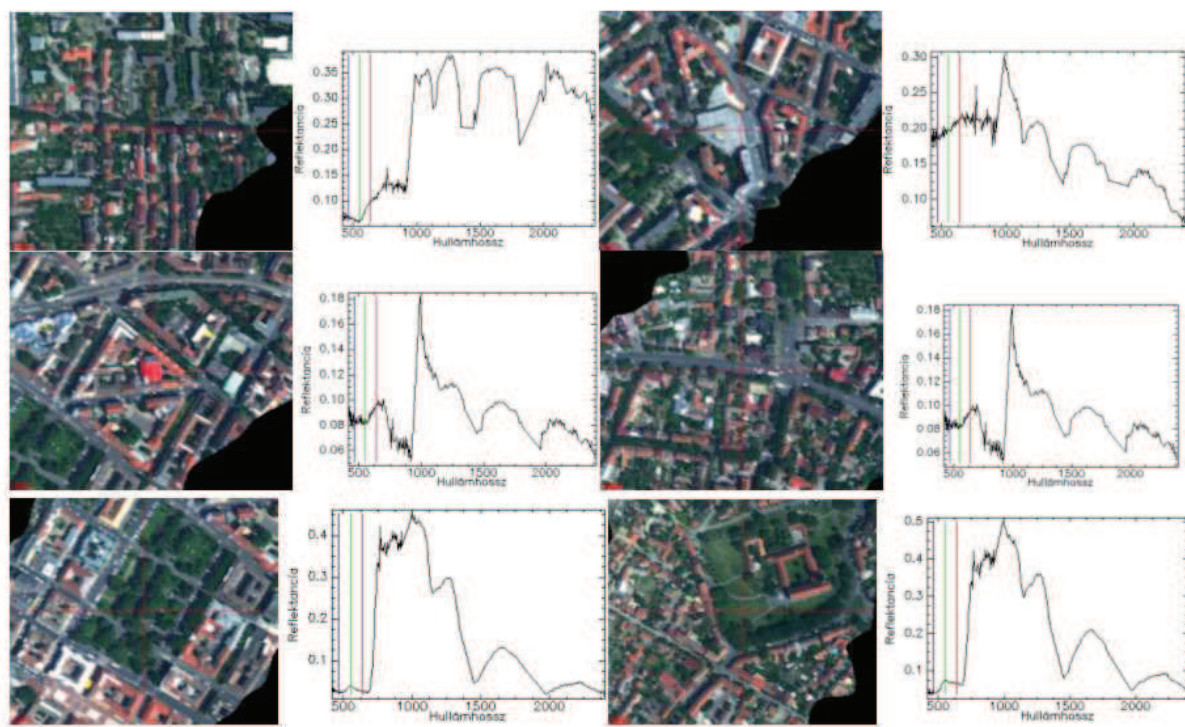
5. ábra Átlagos hősziget intenzitási értékek Szegeden a nem fűtési időszakban 2009-ben

A hiperspektrális felvételezés előkészítésekor törekedtünk arra, hogy a lehető legjobb geometriai felbontás mellett készüljenek a felvételek. Így viszonylag alacsony magasságból készültek a felvétel sávok. A 2007-es felvétel geometriai korrekcióját jelentősen nehezítette a GPS alapú adatrögzítés hiányossága, és a külső kalibráció is hiányzott. Ez utóbbi ellenére sikerült Szeged Körtőlésén belüli részét teljesen lefedni hiperspektrális felvételekkel.

Az FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet és a Debreceni Agrártudományi Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék által 2006-ban a Gazdasági Versenyképesség Operatív Program pályázat keretében, EU-s támogatással beszerzett egy SPECIM gyártmányú AISA DUAL hiperspektrális távérzékelő rendszert használtuk projekt során.

Az érzékelő térbeli felbontása a repülés magasságától függ (és a beállítástól), tekintve, hogy az optika látószöge konstans. A térbeli sáv szélessége az Eagle szenzor esetén 1024 részre osztódik. A repülőgép sebességét a felbontáshoz kell igazítani, mert nagy felbontás esetén a rendszernek nagy mintavételezési frekvenciával kellene dolgozni, melynek fizikai korlátja van. A megengedett mintavételi frekvencia-tartományon belül a repülőgép sebességétől függően a mintavételi (letapogatási) frekvenciát a rendszer automatikusan beállítja.

Mivel a két szenzor felbontása különböző ezért pl. 1,5m-es térbeli felbontás igénye során ha csak az Eagle szenzor működik, tehát 400-970nm-es spektrális csatornák működnek, a repülőgépnek



8. ábra Jellegzetes, azonosítható felszínborítások és reflektancia görbéik



9. ábra Felszínborítási térkép hiperspektrális felvétel reflektancia görbe alapú osztályozása alapján Szegeden (2009) (1=árnyék, 2, aszfalt, 3=lapos tetős panel, 4= cserép tető épület, 5= gyep, 6=fa, 7 park, 8=épület)

III. Városi beépítettség elemzése multi- és hiperspektrális felvételekből generált NDVI értékek alapján

Az NDVI értékek számítása klasszikusan a pixelalapú osztályozások körébe tartozik. A számos értelmezési és alkalmazási nehézség mellett városi felszínek elemzésére is használják. A kutatási programunkban vizsgáltuk, hogy az NDVI érték éven belüli változása milyen kapcsolatban van a mesterséges felületek arányával és ebből következően a hősziget-intenzitással, illetve elemeztük, hogy a hiperspektrális rendszerekben milyen sávokkal felhasználásával lehet hasonló értéket előállítani.

Az idősoros vegetációs indexek (VI), mint például az NDVI, vagy az EVI hagyományosan a kis időfelbontású műholdak szenzorai (NOAA AVHRR, MERIS, SPOT VEGETATION, MERIS, stb.) által készített felvételekből állíthatók elő globális léptékben akár naponta is. Az 1990-es évek elejétől a vegetációs indexeket használni kezdték a városi felszínek vizsgálatában [Mezősi and Mucsi, 1994; Unger et al. 2001] is, különösen, miután bizonyítottá vált, hogy az NDVI érték az egyik legjobb indikátora a városklímának. A városi és a falusias területek NDVI értékei, valamint a minimum lég-, és felszínhőmérsékleti értékek között szoros kapcsolat mutatható ki [Gallo et al, 1993].

A nagyobb NDVI értékek tipikusan nagyobb növényborítottságra utalnak a képelemen belül. A növényzet az evapotranspiráció révén befolyásolja a felszín légkör felé irányuló látens hőfluxusát. Az alacsonyabb felszínhőmérsékletet általában a magasabb NDVI értékű területeken lehet mérni, és ez az NDVI-LST közötti negatív korreláció a városklíma kutatás egyik fontos eredménye. A növényzet fejlődése azonban az NDVI értékek évszakos változását eredményezi, így annak kapcsolata a városi felszínhőmérsékletével, és ebből következően a városi hősziget kialakulásával, mértékével szintén évszakos különbséget mutat. Az NDVI és az LST értékek közötti kapcsolat nemlineáris, és a nyílt talajfelszínek felett mért hőmérsékletek sokkal nagyobb változékonyságot mutatnak, mint a növényzettel sűrűn borított felszínek esetében. A változékonyság és a nemlineáris kapcsolat feltételezi, hogy az NDVI értékek egyedül biztosan nem elegendőek a városi hőszigetindex kvantitatív elemzéséhez. Weng és társai [2004] az NDVI értékek helyett a spektrálisan vegyes képelemek spektrális szétválasztási modelljéből (SMA) levezethető növényfedettség aránytényezőt javasolták új indikátorként használni. Azt találták, hogy ennek a tényezőnek sokkal erősebb a negatív korrelációja a felszínhőmérséklettel, mint az NDVI értéknek. Bár a növényfedettség aránytényező előállítása különbözik az NDVI értéktől, az továbbra is egyfajta vegetációs indexnek tekinthető, melynek szoros a korrelációja az NDVI értékekkel.

Egyetlen űrfelvétel azonban nem elegendő annak megállapítására, hogy az adott időpontban az NDVI értékek milyen kapcsolatban vannak a felszínborítással, mert a növényzet NDVI értékeit többek között a korábbi klimatikus feltételek (csapadékeloszlás, hőmérsékletjárás) vagy a növényzet kora határozzák meg. Éven belül készült közepes felbontású űrfelvételeket kigyűjtve már lehetőség adódhat, hogy az egyedi NDVI térképek alapján olyan statisztikai paramétereket számoljunk, melyek integrálják az évszakos változásból adódó különbségeket a városi térben, és vizsgálható ezen paraméterek kapcsolata a beépítettség különböző forrásokból származó adataival, illetve a városi hősziget intenzitás értékeivel.

Felhasznált adatok

Az űrfelvételeket az Amerikai Geológiai Szolgálat (USGS) internetes adattárából² töltöttük le. Az 1986-os évre sikerült 8 olyan Landsat-5 TM felvételt találnunk, amelyek megfeleltek az említett kritériumoknak.

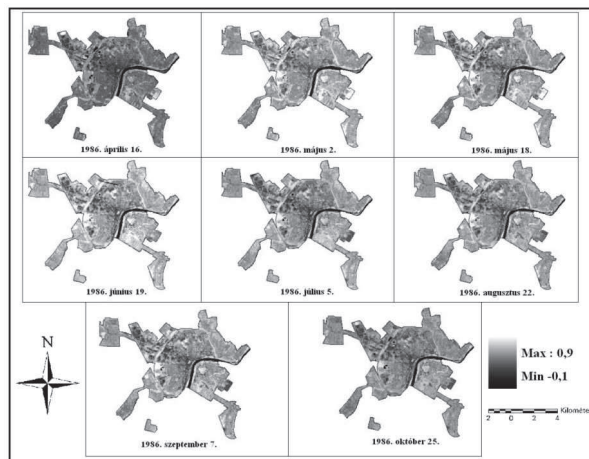
A Landsat-5 TM intenzitásértékeit atmoszférikus korrekcióval reflektancia értékké alakítottuk át egy ERDAS IMAGINE-ban létrehozott modell segítségével [Chavez, 1996].

² <http://glovis.usgs.gov>

Hiperspektrális távérzékeléses módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére**Módszerek, eredmények**

Az NDVI az egyik legszélesebb körben alkalmazott vegetációs index, amelynek az alkalmazhatóságát a műholdas kiértékelésekben és a globális növényborítás monitoringjában az elmúlt két évtizedben kellőképpen igazolták. [Huete & Liu, 1994; Leprieur et al., 2000].

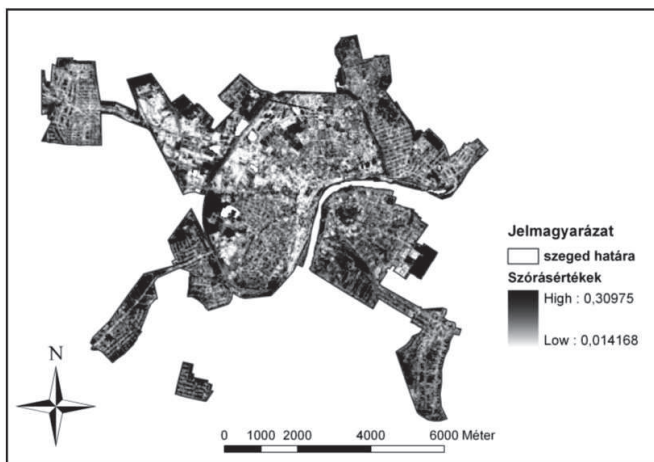
Az alábbi képlettel adható meg: $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$, ahol IR a felszín infravörös reflektanciája, míg R a vörös reflektancia értéke. Minden pixel -1 és +1 közötti értéket vesz fel, minél nagyobb ez az érték annál dúsabb, egészségesebb a növényzet.



Az 1986. évi vegetációs időszakot szinte teljesen lefedő Landsat TM űrfelvételek elemzése (pixelenkénti összehasonlítás, különbségképzés, statisztikai vizsgálat) után megállapítottuk (10. ábra), hogy a kiválasztott, jórészt homogén mesterséges felszíneket tartalmazó képelemek esetében az NDVI értékek éven belüli változása sokkal kisebb (0,14-0,24), mint a növényzeti foltokat lefedő képelemek esetében (0,65-0,72).

10. ábra az 1986-os Landsat TM űrfelvételekből készített NDVI képek

A kiszámított NDVI értékek statisztikai elemzése során, megállapítottuk, hogy az szórásértékek jelentősen eltérnek az egyes felszínborítási típusok esetében, és kapcsolatban lehetnek a beépítettség mértékével. A görbék és a táblázat alapján is megállapítható, hogy a mesterséges felszínek éven belüli szórása alacsony ($\sigma=0,01-0,04$), a növényzeté viszont magas értékekkel rendelkezik ($\sigma>0,1$), míg a talaj szórásértékei a városon belül a kettő közé tehetők ($\sigma=0,05-0,09$).



Ezért a nyolc NDVI képet bemenő adatként alkalmazva, elkészítettünk a nyolc képből a település teljes belterületére az NDVI értékek szórástérképét (11. ábra), amely eredményeként minden egyes pixelre megkaptuk, hogy az a képelem milyen szórási értékkel rendelkezik a vizsgált éven belül.

11. ábra Az 1986-os időszak 8 db NDVI képéből előálló szórástérképe

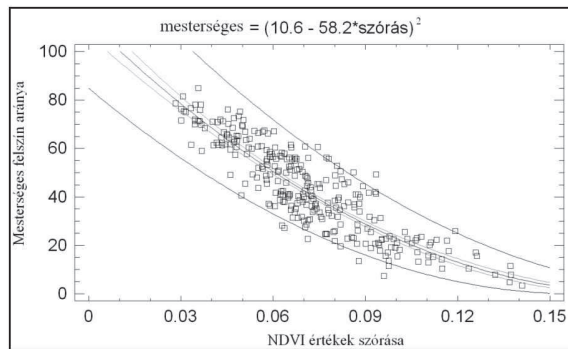
A pixelenkénti 8 NDVI értékekből számított szórásérték térbeli eloszlását térképen is ábrázoltuk. A szórásérték és a beépítettség szoros kapcsolatát igazolta, hogy a NDVI szórástérképen:

1. világos színnel jelölve jól felismerhetők a város belső sűrűn beépített részei, a kelet-nyugati tengelyben elhelyezkedő ipari zóna összefüggő épületegyüttese,
2. szürke színárnyalatúak a ritkább beépítésű, hagyományos családi- és társasházak területek a város déli, keleti és északi részén (Alsóváros, Móraváros, Rókus), és kisebb
3. sötét színű foltok jelzik a városi parkokat, temetőket, a várost védő Körötlés menti erdőket, bokros füves területeket, illetve a belterület határához közeli kiskerteket, mezőgazdasági területeket.

Hiperspektrális távérzékeléses módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére

Az NDVI szórásértékek és a beépítettség közötti, a szórástérképen jól látható kapcsolatot statisztikai vizsgálattal igazoltuk. A szórástérkép validációját egy 1987. július 24-i Landsat TM űrfelvétel alapján végeztük el, melyre a spektrális szétválasztás (SMA) módszerével előállítottuk a mesterséges felületek, a növényzet és a talajfelszínnek pixelen belüli arányait mutató térképeket.

A validáció során a normalizált spektrális szétválasztás eredményeül kapott mesterséges felszín frakciós térkép pixelértékeit vetettük össze a szórástérkép megfelelő pixeleinek értékeivel. Az ellenőrzéshez 90*90 m-es, azaz 3*3 pixeles cellákat hoztunk létre, és ezeken belül vetettük össze az adatokat. A minél pontosabb kapcsolat megállapításához 289 db ilyen cellát vizsgáltunk.

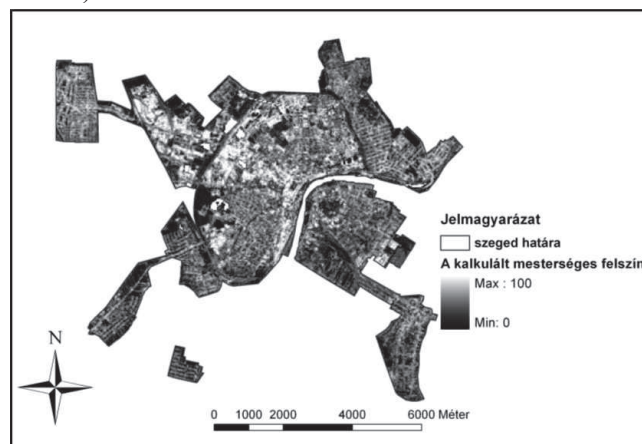


A két tulajdonság közötti törvényszerűség leírására a regresszió analízis módszerét alkalmaztuk. A regresszió előnye, hogy a független változó (x) értelmezési tartományán belül, minden x-hez becsülni tudjuk a minta alapján számított regresszióval a neki legvalószínűbben megfelelő y értéket. A 12. ábra a mesterséges felszín szórásra vonatkozó regressziós függvényének grafikonját mutatja, amelynek egyenlete:

$$y = (10,6 - 58,2 \cdot x)^2,$$

ahol y: a mesterséges felszín százalékos aránya (0-100) és x: az NDVI értékekből számolt szórásérték.

A kapcsolat erősségét jelző korrelációs együttható értéke -0,886, tehát a két tényező között szignifikáns negatív kapcsolat áll fenn, azaz nagyobb NDVI szórásértékhez kisebb mesterséges felszín arány fog tartozni. A mesterséges felszín és az NDVI értékek szórása közötti kapcsolat megállapítása után az előállított szórástérképből a regressziós egyenlet segítségével elkészítettük a mesterséges felszín aránytérképét (13. ábra).



13. ábra A szórástérképből számított mesterséges felszín aránytérképe

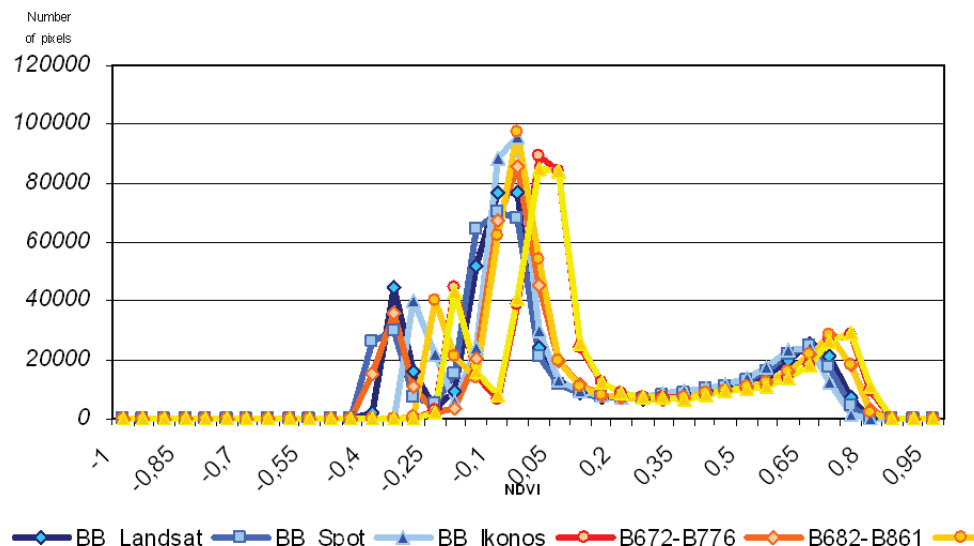
Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a közepes felbontású űrfelvételek alkalmasak a városi felszínborítás térképezésére az NDVI értékek idősoros elemzésével abban az esetben, ha kellő gyakorisággal állnak rendelkezésre felhőmentes űrfelvételek egy adott év vegetációs időszakában. Az egyedi képek pixelenkénti intenzitás-értékeinek átalakítása reflektanciává lehetővé teszi, hogy az idősoros elemzésben az egymás utáni képek összehasonlíthatók és statisztikailag elemezhetők legyenek. Kimutattuk, hogy a pixelenkénti NDVI értékekből számolt NDVI szórásérték szignifikáns negatív korrelációban van a mesterséges felületek pixelen belüli arányával. Az NDVI szórásértékek a regressziós egyenlet alapján átszámíthatók a mesterséges felület százalékos értékeivé, így a településen belül vizsgálhatók a beépítettség térbeli különbségei. Ezáltal az NDVI szórásérték megfelelő bemenő paraméter lehet egy városklíma modellben, a városi hősziget-intenzitás modellezésére a nem fűtési időszakban.

Hiperspektrális felvételtől előállított NDVI értékek elemzése

NDVI számítás

Az irodalomban számos példát találtunk arra nézve, hogy az AISA szenzor bizonyos vörös és közeli infravörös sávjából NDVI értéket számolhatunk. Kutatásunk során, szegedi mintaterületre, 7 R-IR kombinációt használtunk, melyek közül 4 az idézett munkákban is megtalálható. Runquist a B_{673} és a B_{777} sávokat, Matsusita a B_{681} és a B_{863} sávokat használta, hogy értékelje a topográfia hatását a vegetációs indexekre, Hunt a B_{682} és a B_{804} sávokat használta a vegetációs indexek közötti kapcsolat elemzésére, míg Campbell a B_{671} és a B_{782} sávokat alkalmazta a nedves területek lehatárolására.

A 4 keskenysávból számított AISA NDVI-ket ($B_{672}-B_{780}$, és $B_{672}-B_{776}$) elvetettük, mert az NDVI értékek nagyon magasak voltak más sávkombinációkból számított értékekhez képest.



14. ábra 7 multi és hiperspektrális NDVI hisztogramja.

A $B_{682}-B_{861}$ és a $B_{682}-B_{804}$ eredményezett nagyon hasonló pozitív NDVI értékeket. A kétféle kombinációból számított értékek között 0,1 értéknél nagyobb eltérést mutató pixelek száma mindösszesen 0.04% volt. Ezért csak a $B_{682}-B_{861}$ sáv kombinációt használtuk a későbbiekben.

Osztályozás

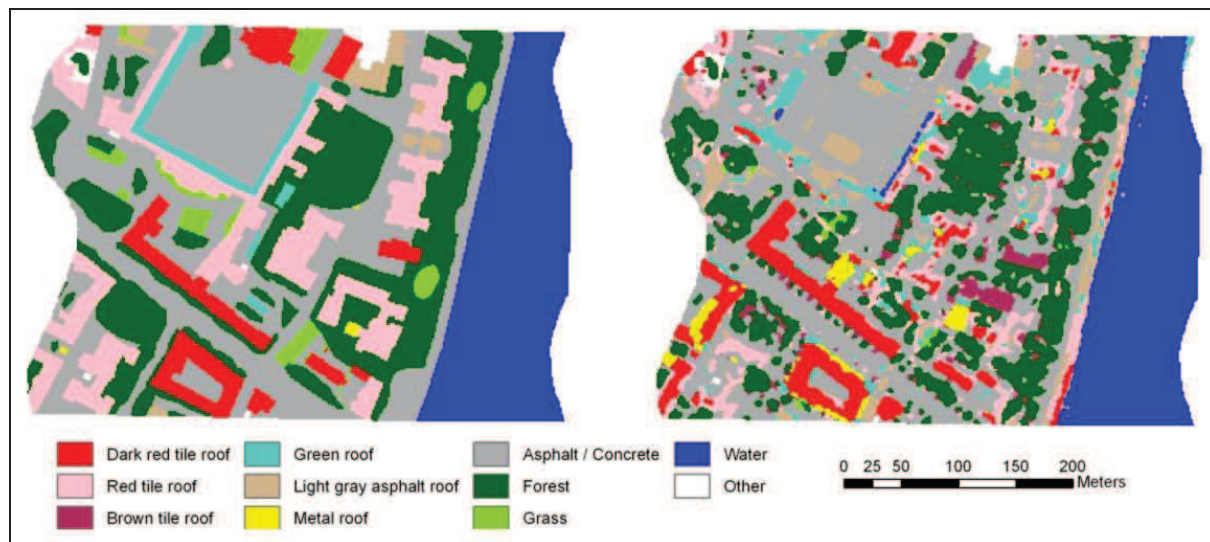
Az osztályozás során egy irányított és három MNF transzformáción alapuló osztályozási módszert használtunk. 261 sávot hagyunk meg, melyekben a pixelérték kalibrált radiancia értéket jelentett.

Az irányított osztályozás során a terepi mérések alapján elkülönített 10 terület adtunk meg tanulóterületként (6 tetőborítás, 1 aszfalt, 2 vegetáció és 1 vízfelület). 1 további osztály reprezentálta a nagyon fényes felszíneket.

A minimális távolságok módszerével végrehajtott osztályozás eredményét a terepi felmérés adatai alapján ellenőriztük. A pontosság nem volt job mint 61,3 %.

A három további osztályozás eredménye a következő volt:

osztályozás	pontosság
Forward MNF Unsupervised	56.17%
Forward MNF Supervised	58.33%
Reverse MNF Supervised	60.68%



15. ábra Felszínborítottsági térkép hiperspektrális felvételtől irányított osztályozás alapján

Az eredmények nem kellő pontosságúak, melynek oka lehet a terepi felmérés pontatlansága, a tetőtípusok nem elegendő száma. Végül a lapos háztetők (többszemeletes lakótelepi panelépületek) nagy része aszfaltfelületként osztályozódott miután a szigetelésük anyagának spektrális tulajdonságai nagyon hasonlítanak az úttestek aszfaltburkolatának spektrális tulajdonságaihoz.

IV. Kisformátumú légifelvételek alkalmazása (Földrajzi Közlemények)

Egyes hiperspektrális szenzorok a VIS, a NIR és MIR sávokon kívül a hőtartományú infravörös sávban is készítenek felvételeket (DAIS-79). Az projekt során használt AISA DUAL rendszer nem tartalmaz ilyen sávot. Emiatt a lehetséges későbbi együttes alkalmazás miatt fontosnak tartottuk, hogy kialakítsuk a kisformátumú hőkamerás légifelvételzés saját rendszerét, melyet nemcsak az AISA rendszerrel, hanem a tanszéki, ugyancsak kisformátumú CIR kamerával együtt is működtetni lehet.

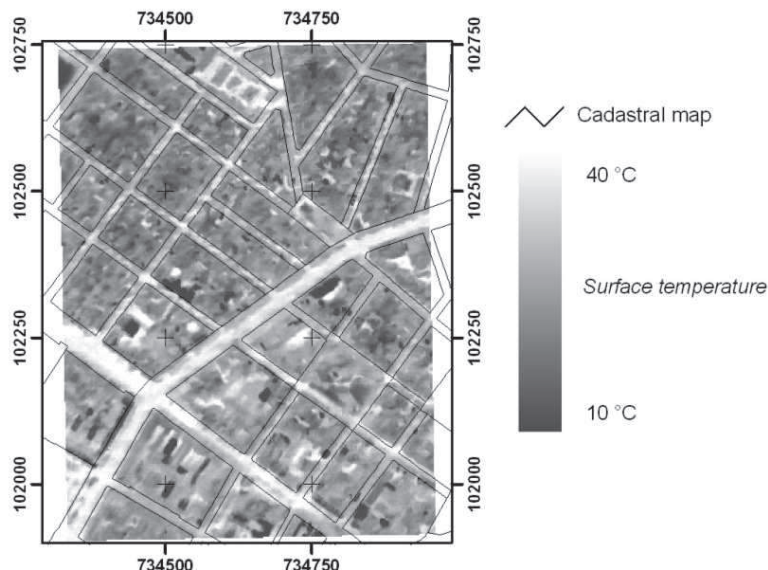


A hőkamerás mérések az általunk kiépített alacsony költségű, kisformátumú digitális légi felvételező rendszerrel történtek. A rendszer alapját egy FLIR típusú ThermoCAM P65 jelzésű hőkamera adja, további eleme a navigációt segítő és a repülési útvonalat rögzítő térinformatikai GNSS vevő (Mobil Mapper CE).

A rendelkezésünkre álló kamera rendkívül hőérzékeny ($0,08^{\circ}\text{C}$) detektorral felszerelt, kis súlyú, gyors reakcióidejű készülék. A felvételek során 320×240 képpontból álló hőmérsékleti képet készít, amely megegyezik a beépített detektor felbontásával. A kamera -40°C - $+500^{\circ}\text{C}$ közötti tartományban képes mérni.

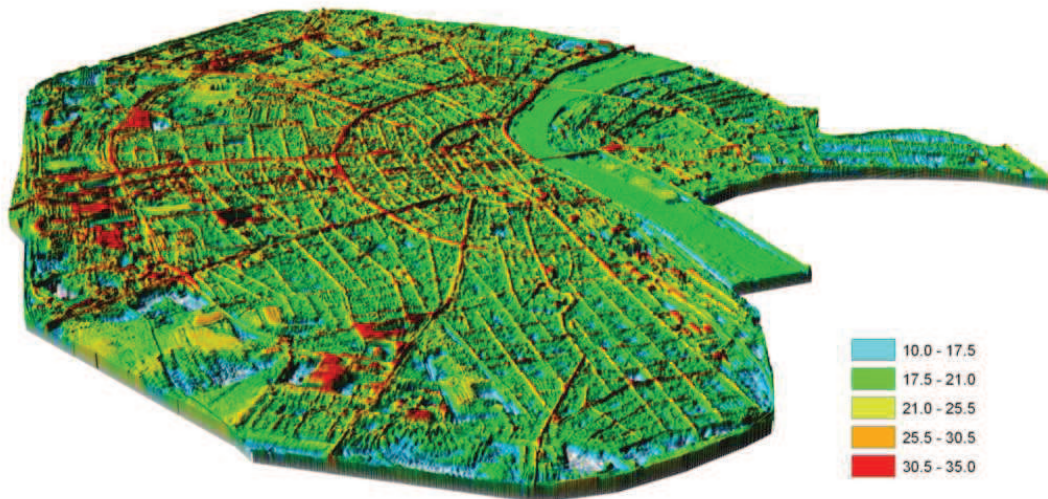
A felvételezés során az előre megtervezett nyomvonalon történő navigálást, és a tényleges repülési útvonal rögzítését egy Thales Mobil Mapper CE típusú térinformatikai GNSS vevővel végeztük és az adatok utófeldolgozásával kaptuk a repülés méteres pontosságú GPS track-jét.

A felvételek elkészítése után nyílik lehetőség az utófeldolgozásra, amely szoftveresen hajtható végre. A hőképek elemzésére fejlesztett professzionális szoftver segítségével valamennyi paraméter újra beállítható, pontosítható. A párhuzamosan végzett terepi mérések eredményeivel az egyes pixel értékek ellenőrizhetővé és kalibrálhatóvá váltak. Az egy este készült felvételek időrendi sorbaállítása után a terepi felmérések hőmérsékleti értékeinek megfelelően finomítottuk az elkészített hőképeket. A feldolgozás után a termográfiai felvételeket adatfájlba mentettük ki, így egy mátrixot kaptunk, amely a képek hőmérsékleti értékeit tartalmazta.

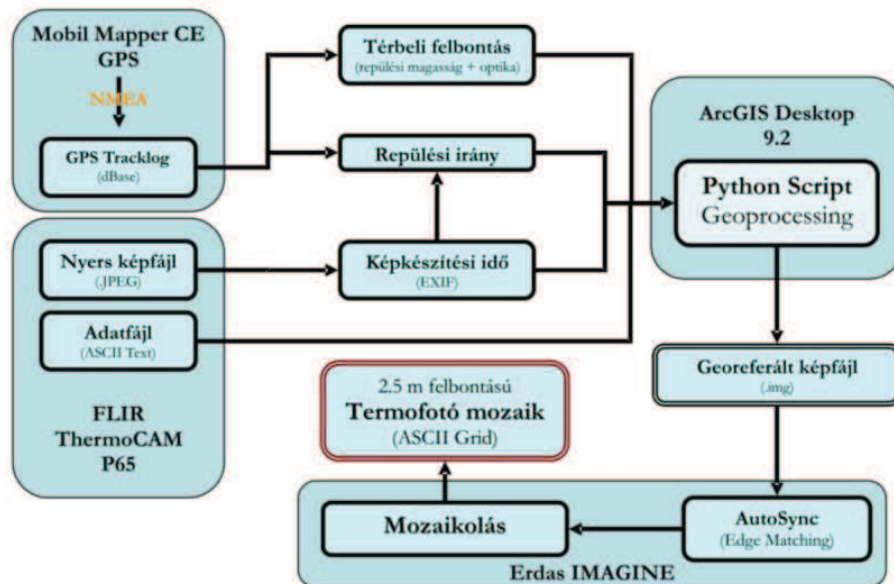


A hőképek feldolgozásának következő lépésében a durva geometriai korrekció valósult meg, melynek pontossága – a repülési körülményektől függően – 100-150 méter (16. ábra). Következő lépésben az önálló felvételek összeillesztésével és pontos geokorrekciójával a teljes felvételezett területet lefedő, 2,5 m-es felbontású fotómozaikot állítottunk elő (17. ábra).

16. ábra Georeferált (EOV) hőfelvétel belterületi vektoros fedvénnel

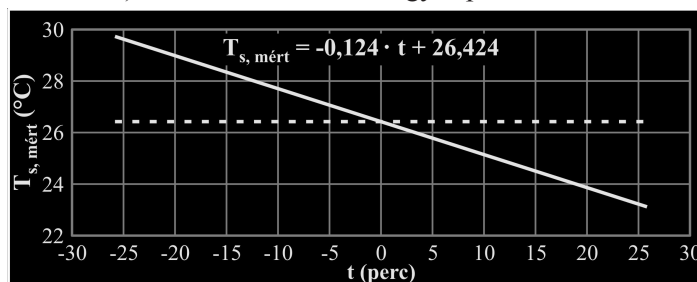


17. ábra A felvételezett területet lefedő, 2,5 m-es felbontású fotómozaikot a felszíni hőmérséklet értékeivel



18. ábra A felvételek feldolgozásának folyamatábrája a nyers légifelvételektől a fotómozaikig

A két nap közül csak 2009. május 14-én volt kimutatható szignifikáns trend, a regressziós egyenest az alábbi ábra mutatja (a pixelértékek felhőjét a nagy elemszám (6,2 millió) miatt nem lehet bemutatni). Annak érdekében, hogy a pixelértékeket a felvételezés középidejére vonatkoztathassuk, a



kapott hűlési tendenciát figyelembe vevő (a képkészítés idejétől függő) korrekciót hajtottunk végre minden egyes pixelre: a középido előtti értékeket időarányosan csökkentettük, míg a az utána felvett értékeket időarányosan megnöveltük:

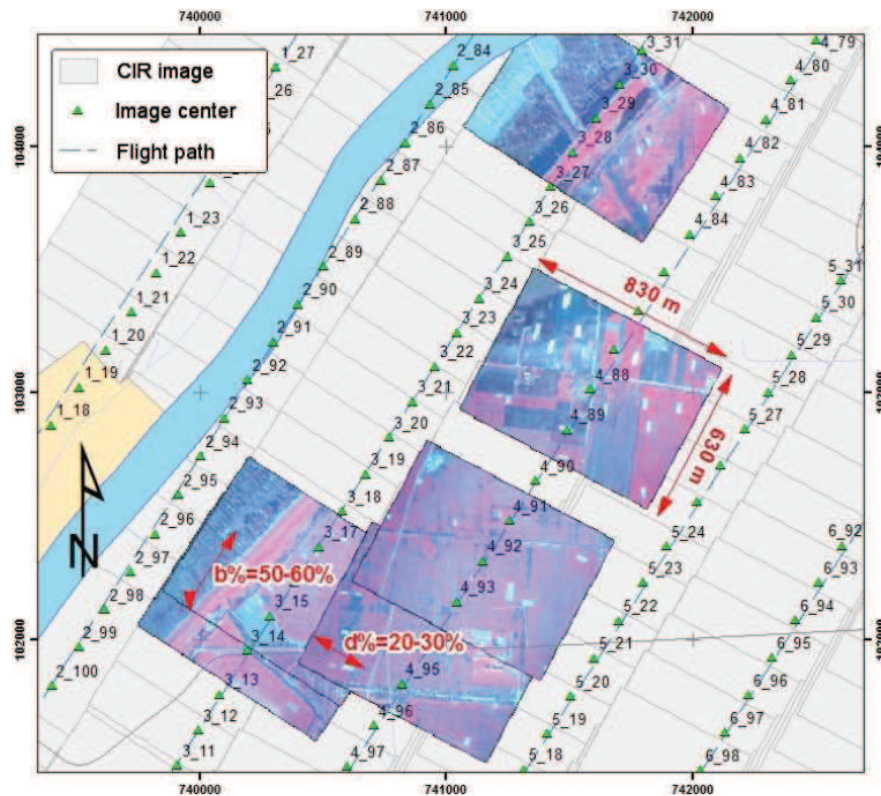
$$T_{s, \text{mért}} = -a \cdot t + b \quad \text{és} \\ T_s = T_{s, \text{mért}} + a \cdot t$$

ahol $T_{s, \text{mért}}$ az eredeti pixelérték, a a trendegyenest meredeksége, t az idő percben (-25,5 – 25,5), b a trendegyenest értéke a középido-nél és T_s a korrigált pixelérték.

Hiperspektrális távérzékeléses módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére

A belvízképződés vizsgálatában a kisformátumú kamera használata nagy segítséget jelentett, hiszen a saját képalkotó rendszerrel magunk választhattuk ki az optimális repülési időpontot.

A belvízzel borított területek pontos lehatárolásakor a többbrétegű adatbázis használatát tekintettük elsődlegesnek. A tanszékünkön fejlesztés alatt álló, mesterséges neurális hálózatokon (ANN) alapuló osztályozási eljárásban a kézikamerás képek mellett a nagy felbontású digitális domborzatmodell jelenti a legfontosabb bementi adatot. A 3 felvételi sáv által szolgáltatott képeket külön-külön input réteggként felhasználjuk fel mind a betanítási, mind a szimulációs fázisban.



19. ábra A felvételezett belvízveszélyes terület egy részlete a tervezett és tényleges repülési útvonalakkal, néhány példaképpel és jellemző paraméterrel

A fenti – ANN alapú – módszer mellett hagyományos képkiértékelő eljárásokkal is interpretálhatók a képi információk. A környezetet terhelő szennyezőforrások – illegális hulladéklerakók, vízkivételi pontok, stb. – térképezésében a nagy térbeli felbontás és az operativitás kulcskérdés (Szatmári et al. 2008). A felvételek alapján azonosított, különböző típusú terhelő objektumokból a térinformatikai adatbázis építhető (Tobak Z. et al. 2008).

A szenzor vörös és közeli infravörös sávjai a növényzeti monitoring során jól alkalmazhatók. A legtöbb vegetációs indexhez az elektromágneses spektrum e tartományait használjuk. A biomassa és klorofil mennyiségének becslése, a különböző erdőtípusok elkülönítése, elegyarány számítása és a növényzet egészségi állapotának értékelése olyan kutatási témák, melyekhez jó minőségű adatokat szolgáltatathatunk.

A növényzet megfigyelése természetesen városi környezetben is történhet. A komplex és heterogén városi felszín távérzékeléses vizsgálata – megfelelő térbeli pontossággal - csak nagy geometriai felbontás mellett valósítható meg; ugyanakkor a színes-infravörös felvételek spektrális információtartalma – a hiperspektrális adatokhoz képest – szűk keresztmetszetet jelent. A kettő kombinációjával, többszintű osztályozási módszerek kidolgozásával mindkettő előnye kiaknázhatók.

V. Multi és hiperspektrális légi és űrfelvétel alapú belvíztérképezés gyakorlatának megalapozása

A belvíz-veszélyeztetettség térképezés (Pálfai et al 2004) komplex módszertanában szereplő paraméterek közül a legdinamikusabban változó a belvíz-gyakorisági tényező, mely megmutatja, hogy egy adott időszakon belül a vizsgált területet hányszor öntötte el a belvíz. A valóságos helyzetet legjobban leíró, ábrázoló belvízelöntési térképek készítése mind a mai napig a belvíz-veszélyeztetettség térképezés kritikus pontja, hiszen a hagyományos módon, terepi bejárással készülő belvíztérkép készítése időigényes, számos hibalehetőséget is rejt magában (Licskó B 2009). A terepi térképezés legnagyobb problémája, hogy egy felszínhez közeli pontból bizonytalan a nagyobb belvízfolt alakjának felmérése a rálátás alacsony szöge miatt, ill. körbejárva körülményes meghatározni kinematikus GPS-szel a folt kiterjedését. Különösen problematikus a nyílt belvízfolt, ill. a kisebb mértékben telített vagy a száraz talaj között folytonosnak tekinthető határátmenet miatt.

A belvízi elöntések térképezésekor törekedni kell a gazdaságos, nagy területet lefedő, minél nagyobb méretarányú tematikus térképezésre, mellyel nemcsak a nyílt belvízfoltok, hanem az átmeneti osztályok is térképezhetők. A nagy méretarányú térképezést leginkább a kézi vagy mérőkamerás multispektrális (látható fény sávjai és infravörös sáv) digitális légifelvételezés segíti. A felvételezés az időjárási viszonyoktól függően a legnagyobb belvízelöntési időszakban rugalmasan végezhető, és így akár 1:10000 méretarányú belvíztérkép is készíthető (Licskó B 2009), de nagy területek felvételezése költséges, és jelentős utófeldolgozást igényel.

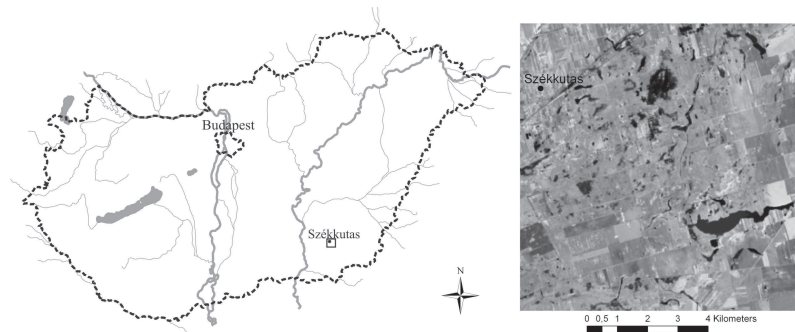
A belvízelöntések térképezése ezért gazdaságosabban megoldható, ha a nagy területet lefedő műholdas távérzékelési adatokból állítjuk elő az elöntési térképet. A FÖMI 1998-tól kezdve űrfelvételek alapján készített belvízelöntési térképeket, különösen az 1999-es és a 2000-es nagy belvízelöntésű években (Csornai et al, 2000). A nagyfelbontású űrfelvételekből 0,1 ha-os részletességgel levezetett tematikus belvíztérképek segítségével a nyílt belvíz mellett a mezőgazdasági művelhetőség szempontjából éppoly káros vízzel erősen átitatott talaj, sőt a vízben álló növényzet is kimutatható, lehatárolható volt. Az alkalmazott SPOT, Landsat, IRS-1C/1D LISS-III műholdak szenzorai által elkészített űrfelvételek pixel alapú osztályozásakor a tanulótérületek kijelölése problémát okozhat és a spektrálisan vegyes képelemek nagy száma éppen az átmeneti osztályok elkülönítésében okoz pontatlanságot.

Az optikai sávú űrfelvételek a napszinkron pályán keringő műholdak esetében jól meghatározható időpontban készülnek, de ezekben a spektrális sávokban a felhőfedettség gyakran megakadályozza a belvízelöntési térképek készítését. Ezért az ár- és belvíztérképezéskor, valamint az operatív munkálatokban hatékonyan lehet alkalmazni a mikrohullámú képalkotó rendszerek (ENVISAT MERIS, ASAR; RADARSAT, ERS) felvételeit. A radaradatokból levezetett belvíztérképeken azonban csak a nyílt belvízfelszínek és az erősen telített talajok lehatárolására volt lehetőség. A 2000-es felvételek alapján a radaradatok önállóan csak korlátozottan alkalmasak nagy pontosságú belvíztérképezésre, de jól kiegészítik az optikai rendszerekből levezetett adatokat.

Miután a 2009 óta a Landsat felvételek adatbázisa megnyílt, így lehetőség van az 1985 óta elkészített űrfelvételek feldolgozására a hagyományos, pixelalapú osztályozástól eltérő új módszerekkel, elsősorban sub-pixel alapú osztályozásokkal azokon a felvételeken, melyek nagy belvízelöntési időszakban készültek és többnyire felhőmentesek.

A vizsgált terület

A vizsgált terület Magyarországon az Alföld DK-i részén található, Székkutas településtől DK-re. A területhasználat alapján főként mezőgazdasági és Körös-Maros Nemzeti Parkhoz tartozó védett területek jellemzik. A Csongrád és Békés megye határán kiválasztott mintegy 86 km²-es mintaterület belvízveszély szempontjából a közepesen veszélyeztetett kategóriába (Pálfai et. al 2004) sorolható. A domborzati különbségek minimálisak, 81 és 89 m közötti tszf-i magassági értékek fordulnak elő.

Hiperspektrális távérzékeléses módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére**20. ábra** A vizsgált terület**Felhasznált adatok és előkészítésük**

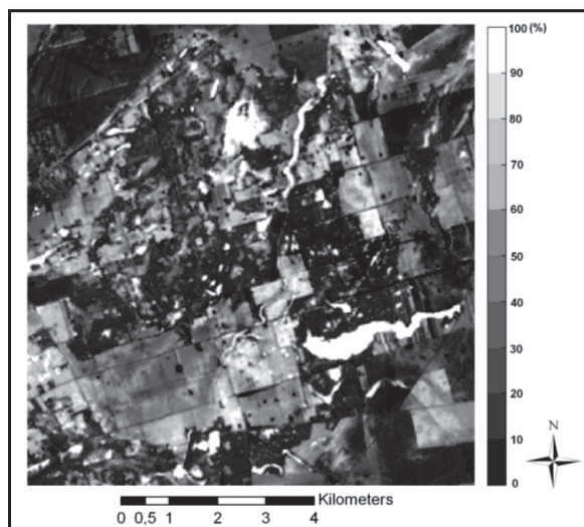
A vizsgálat során két, általunk kiválasztott belvizes év egy-egy képét használtuk fel. Az 1986-os egy erősen belvizes év, a 2000-es pedig egy rendkívül belvizes év volt (Pálfai I. 2006). Ebben a két évben kerestünk olyan felhőmentes kora tavaszi, kora nyári űrfelvételeket, melyek időben a legközelebb estek az adott éven belüli legnagyobb belvizekhez. A képeket az Amerikai Geológiai Szolgálat (USGS) internetes adattárából (<http://glovis.usgs.gov>) töltöttük le, mely éppen a kutatási projekt közben vált ingyenessé. A vizsgált területünket a közepes felbontású Landsat-5 és a Landsat-7 műholdak 186/028-as és a 187/028-as katalógusszámú felvételei is lefedik. Így nagyobb számban álltak rendelkezésünkre olyan képek, melyek nemcsak 16 napos, hanem 7, ill. 9 napos időfelbontással készültek a területről.

A Landsat-5 TM és Landsat-7 ETM+ intenzitásértékeit atmoszférikus korrekcióval reflektancia értékké alakítottuk át egy ERDAS IMAGINE-ben létrehozott modell segítségével (Chavez P. S. 1996, Chander G. - Markham B. L. 2003).

A pontosságbecsléshez referenciaadatként egy 2000. március 23-án készített légifelvétel 1m-es felbontású színes infravörös képei álltak rendelkezésünkre, ezen kívül pedig felhasználtuk az (ATIKÖVIZIG) terepi felméréseinek digitális állományait is, melyek a belvizes évekre a belvízzel elöntött területek foltjait tartalmazzák.

A felszínborítási arányok képelemen belüli meghatározása

Az LSMA eredményei a szélsőpontok, azaz a talaj, a növényzet és a vízfelszínek pixelen belüli arányait mutató térképek. A három térkép az egyes felszínborítási típusok térbeli eloszlását tartalmazza képelemenként. A képelem 0 és 1 közötti értéket vehet fel, 1 esetén a felszínborítási típus pixelen belüli aránya 100 %.

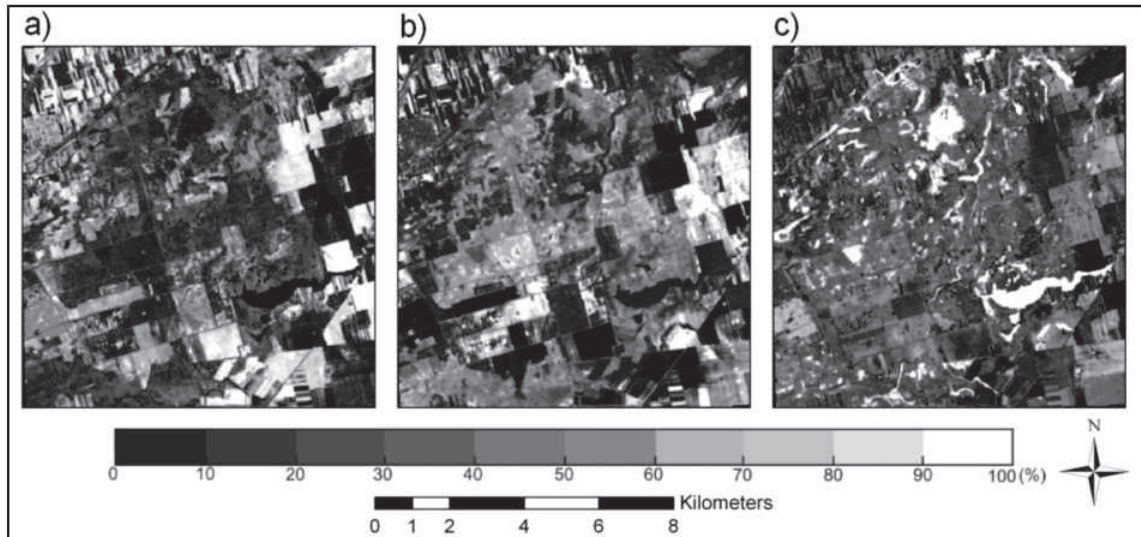


A vízfelszínek szürkeárnyalatos aránytérképén (21. ábra) fehér, ill. világosszürke színnel jelennek meg a nyílt belvízzel borított területek, ahol 70-100% körüli a vízzel borított felszín aránya a képelemen belül. Világos színnel megjelenik a terület DK-i részén hosszan elnyúló Kardoskúti Fehér-tó is. Ezen kívül az elhagyott folyómedrekben, szántóföldi területeken összegyűlő belvizek is magas frakciós értékkel rendelkeznek az aránytérképen. A szürkés területek a nedves (vízzel telített) talajok, és a vízben álló növényzet, ahol a vízfelszín aránya maximum 30-70%.

21. ábra A vízfelszínek aránytérképe az 1986.04.16-ai Landsat TM felvétel alapján

Hiperspektrális távérzékelési módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére

Hasonló módon a 2000.04.23-ai Landsat ETM+ képre is elkészítettük a képelemeken belüli felszínborítási arányokat tartalmazó képeket (22. ábra). A vízfelületek aránytérképeinek elemzésével vizsgálható a két belvizes időpont előntéseinek mértéke, kiszámolható a belvizes felszínnek összterülete, összehasonlítható a belvízfoltok térbeli mintázata.

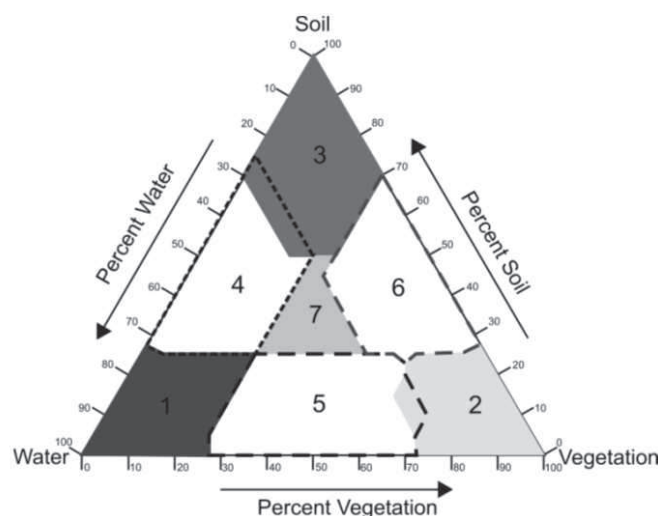


22. ábra A felszínborítási típusok aránytérképei a 2000.04.23-ai Landsat ETM+ alapján
a) talaj, b) növényzet, c) vízfelületek

A felszínborítási aránytérképek osztályozása irányított osztályozással

Az LSMA eredményeképpen kapott 3 sávós képen (1:talaj, 2:növényzet, 3: vízfelület aránytérkép) irányított osztályozást hajtottunk végre. A három szélsőpontból hét osztályt kívántunk meghatározni, hármat, melyet döntően 1 felszínborítási típust alkot, további hármat, melyet kettő-kettő épít fel, és egy olyat melyben a három felszínborítás közel azonos arányban szerepel.

A tanulóterületek kijelölésekor a talaj, a növényzet és a vízfelületek alsó és felső határait adtuk meg. Ezek alapján az alábbi 7 osztályt különítettünk el: (1) nyílt vízfelszínnek, (2) növényzet, (3) nyílt talajfelszín (4) vízzel telített talaj (5) vízben álló növényzet (6) növényvel borított talajok (7) egyéb. Az egyes osztályokat egy háromszögdiaagramban jelenítettük meg. (23. ábra) Az irányított osztályozás során parallelepipedon döntési szabályt alkalmaztunk, az átlapoló területek esetében pedig a minimális távolság módszerével soroltuk az egyes pixeleket a kijelölt osztályok valamelyikéhez.

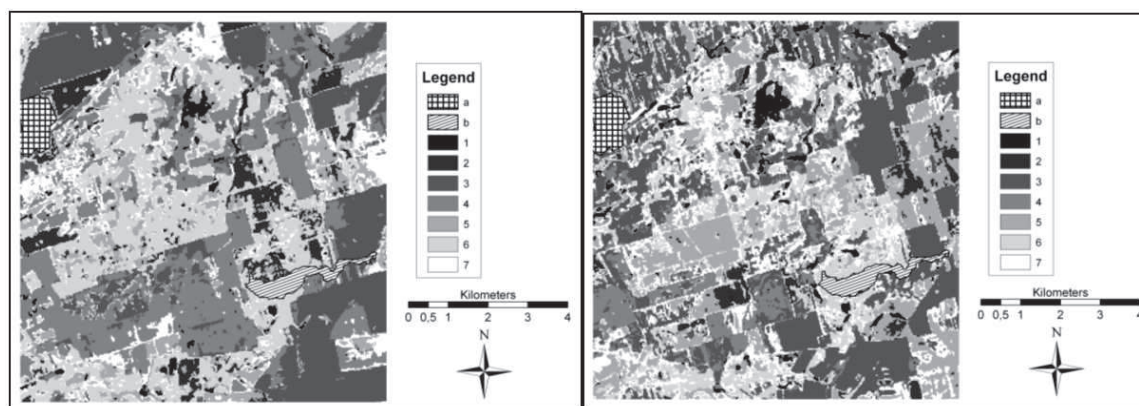


23. ábra A hét felszínborítási osztályt tartalmazó háromszögdiaagram

Hiperspektrális távérzékeléses módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére

	alsó 1	felső 1	alsó 2	felső 2	alsó 3	felső 3	alsó 4	felső 4
talaj	0%	27.5%	0%	27.5%	50%	100%	25%	75%
növény	0%	27.5%	60%	100%	0%	30%	0%	25%
víz	50%	100%	0%	27.5%	0%	30%	25%	72.5%
		alsó 5	felső 5	alsó 6	felső 6	alsó 7	felső 7	
talaj		0%	25%	25%	75%	25%	50%	
növény		27.5%	75%	30%	70%	25%	50%	
víz		20%	70%	0%	25%	25%	50%	

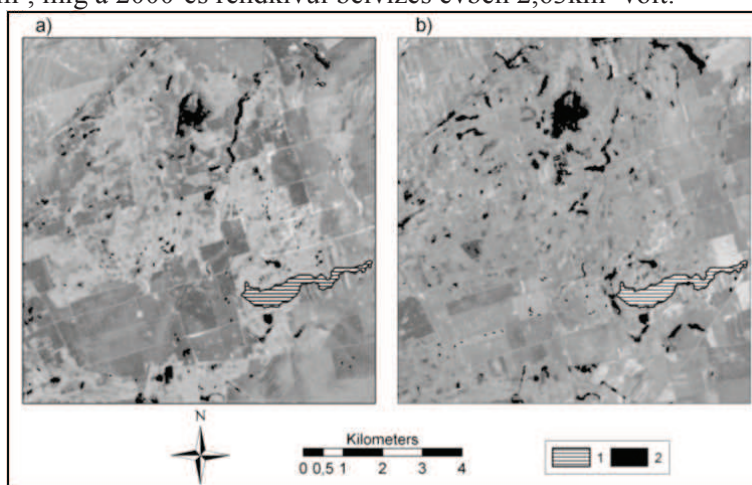
1. táblázat A felszínborítási osztályok szélsőpontok szerinti alsó és felső határai



24-25. ábra A szélsőpont arányok alapján a 1986.04.16-ai és a 2000.04.23-ai Landsat TM űrfelvételből kapott tematikus térképek - (a) Székkutas (b) Fehér-tó (1) nyílt vízfelszín, (2) növényzet, (3) nyílt talajfelszín (4) vízzel telített talaj (5) vízben álló növényzet (6) növényvel borított talajok (7) egyéb

A térképen jól elkülönülnek a vízzel borított felszínek fekete színnel, a vízzel telített talajok és a vizes talajok.

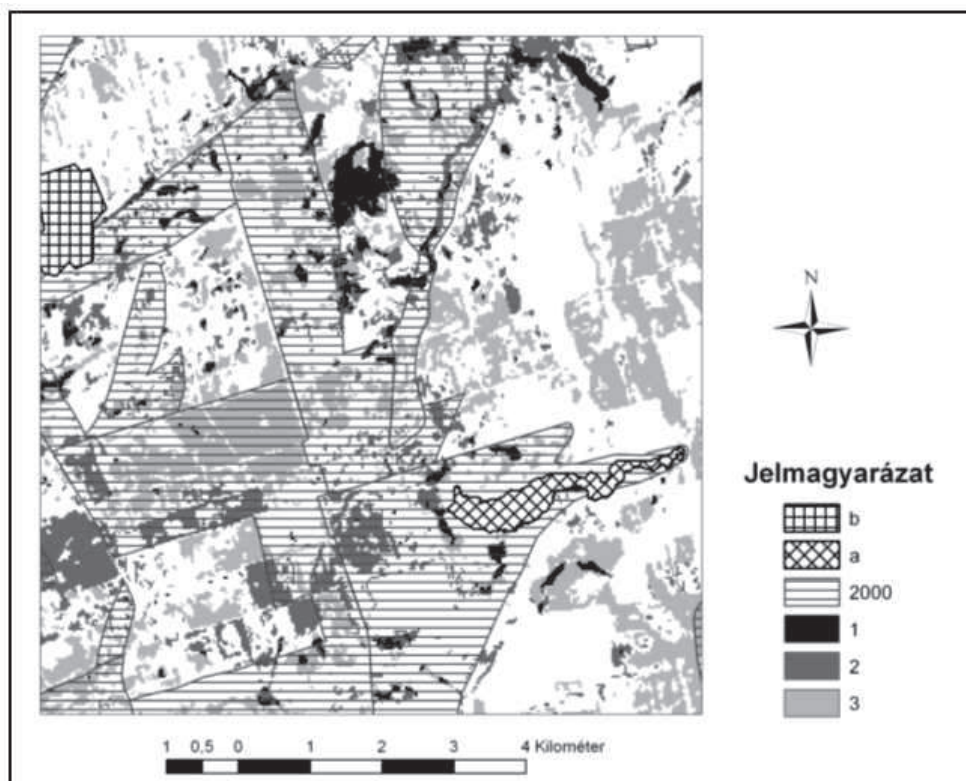
A vizsgált két időpont nyílt vízfelszín osztályait összehasonlítva, meghatározható a belvízfoltok területi elhelyezkedése, az összes belvízborítás mértéke (26. ábra). Melyből megállapítható, hogy a foltok területi elhelyezkedésében hasonló mintázatot mutat a két kép, viszont a belvízfoltok kiterjedésében különbségek mutatkoznak. Az 1986-os erősen belvizes évben a foltok összterülete 1,52km², míg a 2000-es rendkívül belvizes évben 2,63km² volt.



26. ábra Az 1986.04.16-ai (a) és a 2000.04.23-ai (b) időpont belvízfoltjainak összehasonlítása
(1) Fehér-tó (2) Nyílt vízfoltok

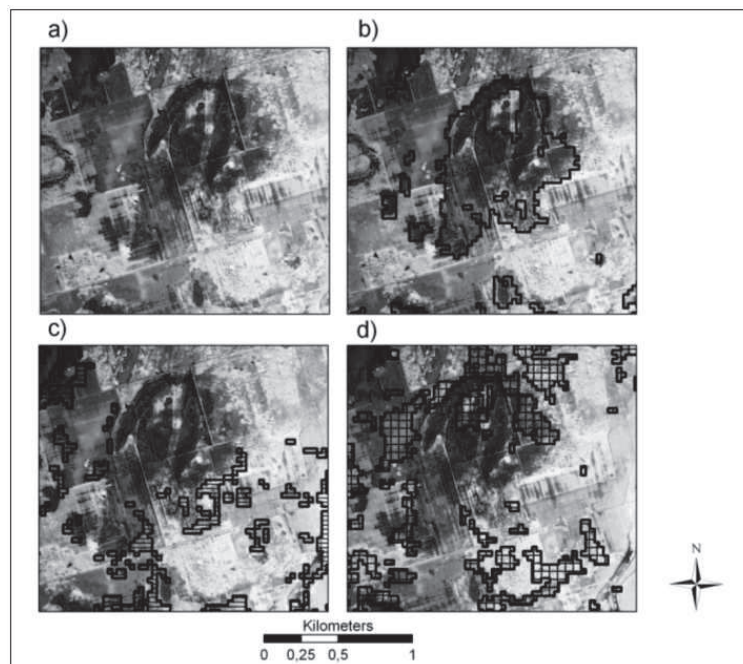
Hiperspektrális távérzékeléses módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére

Az osztályozás eredményét elsőként az (ATIKÖVIZIG) terepi felméréseinek adataival vetettük össze. A nyílt vízfoltok, a nedves talaj és nedves növényzet osztályainkat hasonlítottuk össze a referenciaként rendelkezésre álló belvizes poligonokkal (27. ábra). Ezekből megállapítható, hogy a terepi felmérések a kisebb méretarány miatt kevésbé részletesek, találhatunk olyan belvízfoltokat, amelyek az űrfelvételen képfeldolgozási módszerek nélkül is megfigyelhetők, viszont olyan területre esnek, amelyek nehezen megközelíthetők, nehezen bejárhatóak, így ezek hiányoznak a terepi eredményekből. Az űrfelvétel alapú osztályozás mellett szól még, hogy ezzel a módszerrel elkülöníthetők a nedves talajok és a vízben álló növényzet is, míg a terepi felmérések nem rendelkeznek ilyen leíró adatokkal.



27. ábra. A tematikus réteg három osztályának és a terepi felmérés belvízfoltjainak összevetése
(a) Székkutas (b) Fehér-tó (1) nyílt vízfelszínek, (2) vízzel telített talaj (3) vízben álló növényzet

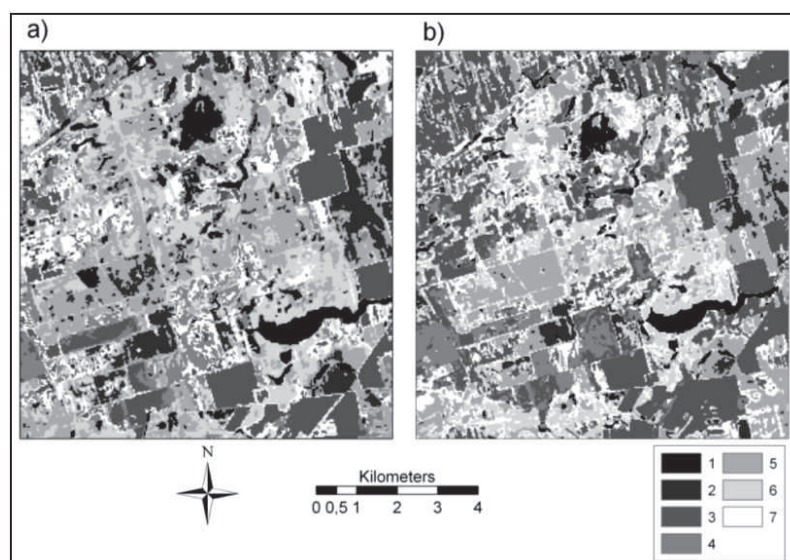
A másik rendelkezésre álló adat, amelyet referenciaként felhasználtunk az osztályozás pontosságának becslésére a 2000. március 23-ai tiszántúli légifelvételzés, Székkutast is érintő képei voltak (28. ábra). Az 1m-es geometriai felbontással rendelkező felvételek alkalmasak ugyan az egyes felszínborítási típusok vizuális módon történő meghatározására, azonban a 3 sávós képeken az egyes vízfelületek pontos elkülönítése és osztályozása automatizálható képfeldolgozási módszerekkel nehezen valósítható meg.



28. ábra A légifelvétel (a) és az egyes osztályok poligonjai (b) nyílt vízfelszín (c) nedves talaj (d) vízben álló növényzet

Ahhoz, hogy az SMA osztályozás fontosságát igazoljuk, egy klasszikus pixelalapú osztályozás eredményével hasonlítottuk össze a kapott tematikus rétegünket. A 2000.04.23-ai Landsat ETM+ 6 sávok képre végrehajtottuk az ISODATA osztályozást (29. ábra), amely során 7 kimenő osztályt állítottunk be. Ezt követően az általunk kapott tematikus réteg 7 felszínborítási osztályát vetettük össze kereszttabulációs módszerrel az ISODATA klaszterezés megfelelő osztályaival (2. táblázat).

Ezek alapján megállapítható, hogy az ISODATA osztályozás nyílt vízfelszín osztálya 67,3%-ban mutat egyezést az SMA osztályozása után kapott vízfelszínnekkel, emellett 22,4%-a vízben álló növényzetként, 9,6%-a nedves talajként osztályozódott. A növényzet 41,8%-ban mutatott egyezést, 54% viszont vízben álló növényzetként osztályozódott. A talajfelszínnek 92,5 százalékos egybeesést mutatnak. A nedves talaj 59,6%, a vízben álló növényzet 66%-ban egyezik.



29. ábra Az ISODATA osztályozás (a) és az SMA kép osztályozása (b) után kapott képek (1) nyílt vízfelszínek, (2) növényzet, (3) nyílt talajfelszín (4) vízzel telített talaj (5) vízben álló növényzet (6) növényvel borított talajok (7) egyéb

Hiperspektrális távérzékelési módszerek alkalmazása a térbeli folyamatok jellemzésére

		ISODATA osztályok						
		1	2	3	4	5	6	7
SMA kép osztályai	Vízfelszínek	67.3%	0.5%	-	0.4%	0.1%	-	-
	Növényzet	-	41.8%	-	-	0.1%	-	-
	Nyílt talajfelszín	0.1%	0.2%	92.5%	7.2%	0.3%	3.2%	92.0%
	Vízzel telített talaj	9.6%	-	6.6%	59.6%	-	1.4%	4.4%
	Vízben álló növényzet	22.4%	54.0%	-	3.0%	66.0%	0.5%	-
	Növényt borított talaj	-	3.2%	0.8%	0.3%	10.8%	53.0%	3.1%
	Egyéb	0.7%	0.1%	0.1%	29.5%	22.7%	41.9%	0.5%

Table 2 Az ISODATA osztályozás és az SMA kép osztályozásának összevetése kereszttabulációs módszerrel

Következtetések

Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a közepes felbontású űrfelvételek alkalmasak a belvíztérképezésre a sub-pixel alapú osztályozás révén. Az 1980-as évek közepétől napjainkig rendelkezésre álló űrfelvételek ezáltal lehetőséget nyújtanak belvízkockázati térképek készítésére. A lineáris spektrális szétválasztás módszerével nyert tematikus térképek osztályai pontosabb eredményt képesek nyújtani, mint a hagyományos pixelalapú osztályozások. A terepi felvételezések belvízfoltjai is pontosíthatóak a korábbi évekre, valamint ezeknek a térképeknek az előállítása is automatizálható az általunk alkalmazott módszerekkel.

Összegzésként kiemelném a kutatási program fő eredményeit:

- 1, Az alacsony költségvetésű projektben sikerült megvalósítani két nagy területet lefedő (60-50 km²) hiperspektrális kampányt.
- 2, A hiperspektrális felvételek radiometriai hibái ellenére összeállítottunk egy olyan spektrumkönyvtárat, mely a jövőbeni projektekben alapadatként szolgálhat. Ennek alapja a nagy területet lefedő terepi felvételezés és adatgyűjtés volt.
- 3, A projekt során új eredményeket értünk el a városi felszínek vizsgálatában, különös tekintettel a subpixel alapú osztályozásra, az idősoros NDVI elemzésekre multi- és hiperspektrális felvételek alkalmazásában.
- 4, Hatékonyan alkalmaztunk kisformátumú CIR és hőtartományú infravörös kamerákat beépített városi környezet és mezőgazdasági – belvízzel elöntött – területek felvételezésére.
- 5, Térbeli statisztikai elemzéseket végeztünk a városi beépítettség és a városi hősziget-intenzitás kapcsolatrendszerének megállapítására, és olyan érvénye modelleket alkottunk, melyek alkalmasak a múltban készült multispektrális felvételekből az UHI számítására.
- 6, Multi- és hiperspektrális felvételek alapján, az SMA módszerre építve, olyan gyorsan futtatható háromszögmodellt alkottunk meg, mely alapján elkülöníthetők a belvízzel elöntött felszínek és az átmeneti típusok. Ezzel a módszerrel nagyobb pontosság érhető el a belvíztérképezésben, mint a terepi felvételezéssel.